

## X-RAY PROJECTION ALIGNER

**Publication number:** JP7283116

**Publication date:** 1995-10-27

**Inventor:** MURAKAMI KATSUHIKO

**Applicant:** NIPPON KOGAKU KK

**Classification:**

**- international:** G03F7/20; H01L21/027; G03F7/20; H01L21/02; (IPC1-7): H01L21/027; G03F7/20

**- european:** G03F7/20T; G03F7/20T14; G03F7/20T16

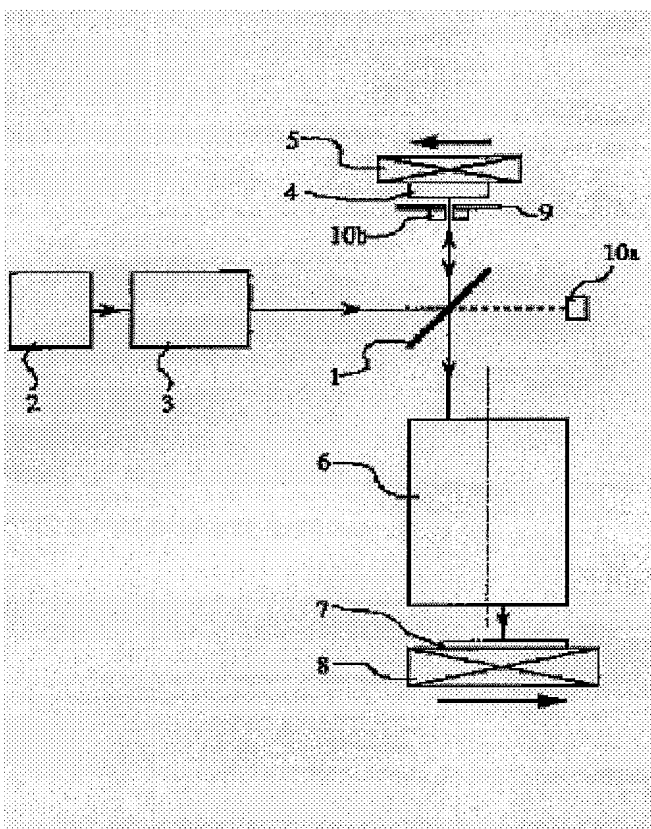
**Application number:** JP19940073536 19940412

**Priority number(s):** JP19940073536 19940412

[Report a data error here](#)

### Abstract of JP7283116

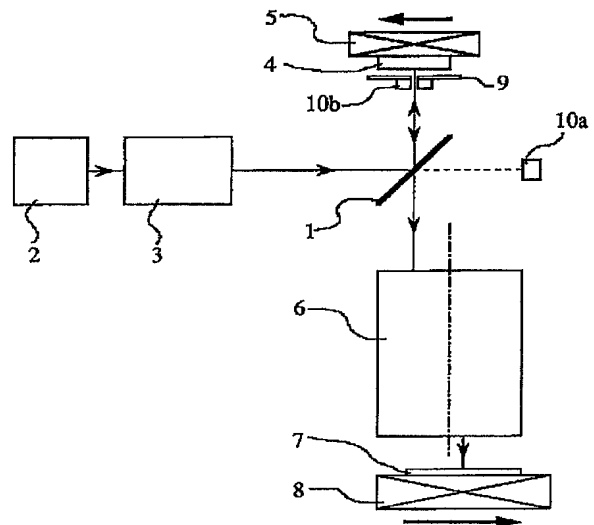
**PURPOSE:** To provide an X-ray projection aligner which enables use of a telecentric optical system in both an object side (a mask 4 side) and an image side (a wafer 7 side).  
**CONSTITUTION:** This X-ray projection aligner comprises at least an X-ray source 2, an illumination optical system 3 for casting X-ray emitted from the X-ray source 2 on a reflection type mask 4 and a projection imaging optical system 6 which projects and images an image of a pattern formed on the mask 4 on a wafer 7. The device is provided with an X-ray beam splitter 1 which vertically directs main beam of X-ray from the illumination optical system 3 to a surface of the reflection mask 4 and directs main beam of X-ray vertically reflected by the reflection mask 4 to the projection imaging optical system 6 parallel to an optical axis of the optical system 6.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成7年(1995)10月27日



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 少なくとも、X線源と、該X線源から発するX線を反射型マスク上に照射する照明光学系と、該マスク上に形成されたパターンの像をウェファー上に投影結像する投影結像光学系とからなるX線投影露光装置において、

前記照明光学系からのX線の主光線を前記反射型マスクの表面に垂直入射させかつ、前記反射型マスクで垂直反射したX線の主光線を前記投影結像光学系へ、該光学系の光軸と平行に入射させるX線ビームスプリッターを設けたことを特徴とするX線投影露光装置。

【請求項 2】 前記X線ビームスプリッターは、少なくとも、開口部を有する基板と、該開口部を塞ぐように該基板上に形成してなる自立多層膜とからなることを特徴とする請求項 1 記載のX線投影露光装置。

【請求項 3】 前記X線ビームスプリッターの開口部に、前記自立多層膜を支持する梁状の支持部を設けたことを特徴とする請求項 2 記載のX線投影露光装置。

【請求項 4】 前記X線ビームスプリッターを、その表面に対して平行な方向へ振動させる振動手段を設けたことを特徴とする請求項 1～3 記載のX線投影露光装置。

【請求項 5】 前記X線ビームスプリッターの破損を検知する検知手段を設けたことを特徴とする請求項 1～4 記載のX線投影露光装置。

【請求項 6】 複数のX線ビームスプリッターを収納する収納手段と、前記検知手段により破損が検知されたX線ビームスプリッターを前記収納手段に収納されたX線ビームスプリッターと交換する交換手段とを更に設けたことを特徴とする請求項 5 記載のX線投影露光装置。

【請求項 7】 前記X線ビームスプリッターの、使用X線に対する反射率と透過率とを等しく又は略等しくしてなることを特徴とする請求項 1～6 記載のX線投影露光装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、X線リソグラフィー等に用いられるX線投影露光装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】近年、半導体集積回路素子の微細化に伴い、光の回折限界によって制限される光学系の解像力を向上させるために、従来の紫外線（波長193～436nm）に代わって、これより波長の短い軟X線（波長5～20nm）を使用した投影リソグラフィー技術が開発されている。この技術に使用されるX線投影露光装置は図5に示すように、主としてX線源、照明光学系、マスク及びマスクステージ、投影結像光学系、ウェファーステージ等により構成される。

【0003】X線の波長域では、透明な物質は存在せず、また物質表面での反射率も非常に低いため、レンズやミラーなどの通常の光学素子が使用できない。そのた

め、X線用の光学系は、反射面に斜め方向から入射したX線を全反射を利用して反射させる斜入射ミラーや、多層膜の各界面での反射光の位相を一致させて、干渉効果によって高い反射率を得る多層膜ミラー等により構成されている。

【0004】斜入射ミラーは、100%に近い反射率を得ることも可能であるが、斜入射角（反射面から測った入射角）が10度以下の斜入射でしか使用できない。多層膜ミラーは、X線を垂直に反射することも可能であるが、100%に近い反射率は得られない。シリコンのL吸収端（12.3nm）より長波長側で、モリブデンとシリコンからなる多層膜を用いたときに最も高い反射率が得られるが、波長13～15nmでは、入射角によらず70%程度である。シリコンのL吸収端よりも短波長側では、垂直入射で30%以上の反射率が得られる多層膜は、開発されていない。

【0005】X線源には、放射光光源（Synchrotron Radiation Source）またはレーザープラズマX線源等の、強力な軟X線の得られる光源が使用される。放射光光源は、光速に近い速度で運動する電子が磁場によって進行方向を偏向されるときに、電子軌道の接線方向に放射される電磁波を利用するものである。レーザープラズマX線源は、ターゲットに強力なレーザーパルスを照射すると、蒸発したターゲット物質がプラズマ化し、そこからX線を含む電磁波が放射されるものである。

【0006】照明光学系は、斜入射ミラー、多層膜ミラー、および所定（所望）波長のX線のみを透過または反射させるフィルター等により構成され、マスク上に所望波長のX線で照明する。マスクとしては、透過型マスクと反射型マスクとが知られている。透過型マスクは、X線を良く透過する物質からなる薄いメンブレンの上にX線を吸収する物質を所定の形状（パターン）に設けることによってパターンを形成したものである。一方、反射型マスクは、X線を反射する多層膜上に反射率の低い部分を所定の形状に設けることによってパターンを形成したものである。

【0007】透過型マスクでは、X線の吸収を抑えるために、0.1μm程度以下の厚さの非常に脆弱なメンブレンを使用しなければならない。そのため、実用的な寸法（100mm以上）のマスクを作製することができない。一方、反射型マスクは、十分な機械的強度を持つ厚い基板を用いることができる。従って、X線投影露光を実際の半導体製造に適用する際には、反射型マスクが使用される。

【0008】このようなマスク上に形成されたパターンは、複数の多層膜ミラー等で構成された投影結像光学系により、フォトリソが塗布されたウェファー上に結像されてフォトリソに転写される。投影結像光学系は、全て反射系（多層膜ミラー）で構成しなければならない。また、多層膜ミラーの反射率があまり高くないの

で、実用的なスルーットを得るためには、ミラーの枚数を極力少なくしなければならない。そのため、広い露光領域全体で収差を補正することは困難である。

【0009】そこで、図4に示すようなリングフィールド光学系が考案されている。この光学系20は、光軸21から所定の距離だけ離れた狭い輪帯状の領域（リングフィールド）22内で収差が補正されている。マスク23上のリングフィールド22aがウェファー24上のリングフィールド22bへ投影結像される。ウェファー24上の露光領域の大きさは、輪帯の幅方向では0.5mm程度の狭い領域しかとれないが、光学系20が回転対称なので、輪帯に沿った方向では広い範囲を使用できる。

【0010】露光を行う際は、図4に示したように、例えばマスク上で長さ120mm程度の円弧状の露光領域25bを使用し、マスク23とウェファー24を縮小倍率に応じた速度比で同期して走査することによって、30×30mm程度の実用的な寸法の露光領域を確保する。なお、X線は大気に吸収されて減衰するため、X線の光路は全て所定の真空度に維持されている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】従来からの投影露光装置の投影結像光学系には、テレセントリックな光学系が使用されている。テレセントリックな光学系とは、物体面あるいは像面においていずれの点でも主光線が光軸に対して平行な光学系であり、それぞれ、物体側テレセントリック、像側テレセントリックという。通常、物体面および像面は光軸に対して垂直なので、これらの主光線はマスクおよびウェファーに対して垂直に入射する。

【0012】従来の紫外線を用いた露光装置では、物体側（マスク側）も像側（ウェファー側）も両方ともテレセントリックな投影光学系が使用されている。テレセントリックな光学系を用いることの利点は、マスクまたはウェファーが光軸方向に移動しても光学系の倍率が変わらないことと、像面上で分解能が一定であることである。これらの特性は、回折限界の結像性能を得ようとするリソグラフィ装置にとっては非常に重要である。

【0013】ところが、図5に示すような従来の軟X線投影露光装置においては、像側（ウェファー側）をテレセントリックにすることは可能だが、反射型マスク4を使用するため、マスクへの入射光（およびマスクでの反射光）は、マスク面に対して垂直にすることは不可能であり、物体側（マスク側）をテレセントリックにした光学系を使用できないという重大な問題点があった。

【0014】このような配置においても、光軸に対して垂直ではなく傾いた物体面を有する投影結像光学系を用いることによって、テレセントリックの条件を満たしながら反射マスクへの入射角を垂直ではなくすることは理論的には可能である。しかしながら、物体面は光軸に対して回転対称であるから、光軸に対して傾いた物体面は平面ではない。従って、その場合には、曲率を持ったマ

スクを使用しなければならないことになり、これは非現実的である。

【0015】本発明は、このような問題点を鑑みてなされたものであり、物体側（マスク側）及び像側（ウェファー側）の両方でテレセントリックな光学系を使用することが可能なX線投影露光装置を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】そのため、本発明は第一に「少なくとも、X線源と、該X線源から発するX線を反射型マスク上に照射する照明光学系と、該マスク上に形成されたパターンの像をウェファー上に投影結像する投影結像光学系とからなるX線投影露光装置において、前記照明光学系からのX線の主光線を前記反射型マスクの表面に垂直入射させかつ、前記反射型マスクで垂直反射したX線の主光線を前記投影結像光学系へ、該光学系の光軸と平行に入射させるX線ビームスプリッターを設けたことを特徴とするX線投影露光装置（請求項1）」を提供する。

【0017】また、本発明は第二に「前記X線ビームスプリッターは、少なくとも、開口部を有する基板と、該開口部を塞ぐように該基板上に形成してなる自立多層膜とからなることを特徴とする請求項1記載のX線投影露光装置（請求項2）」を提供する。また、本発明は第三に「前記X線ビームスプリッターの開口部に、前記自立多層膜を支持する梁状の支持部を設けたことを特徴とする請求項2記載のX線投影露光装置（請求項3）」を提供する。

【0018】また、本発明は第四に「前記X線ビームスプリッターを、その表面に対して平行な方向へ振動させる振動手段を設けたことを特徴とする請求項1～3記載のX線投影露光装置（請求項4）」を提供する。また、本発明は第五に「前記X線ビームスプリッターの破損を検知する検知手段を設けたことを特徴とする請求項1～4記載のX線投影露光装置（請求項5）」を提供する。

【0019】また、本発明は第六に「複数のX線ビームスプリッターを収納する収納手段と、前記検知手段により破損が検知されたX線ビームスプリッターを前記収納手段に収納されたX線ビームスプリッターと交換する交換手段とを更に設けたことを特徴とする請求項5記載のX線投影露光装置（請求項6）」を提供する。また、本発明は第七に「前記X線ビームスプリッターの、使用X線に対する反射率と透過率とを等しく又は略等しくしてなることを特徴とする請求項1～6記載のX線投影露光装置（請求項7）」を提供する。

【0020】

【作用】本発明にかかるX線投影露光装置の例を図1及び図2を参照して説明する。図1及び図2に示す装置では、物体側（マスク側）と像側（ウェファー側）の両方がテレセントリックなリングフィールド投影結像光学系

6を用いている。X線源2から発したX線は、照明光学系3により、その主光線が互いに平行であり、且つ所定寸法の照明領域を照射するのに十分な大きさをもつX線光束に成形される。

【0021】このX線光束を、まず、X線ビームスプリッター1により反射(図1の場合)又は透過(図2の場合)させてから、反射型マスク4に対して、その主光線(反射光又は透過光)が垂直になるように入射させる。反射型マスク4の直前には、円弧状に照明領域を制限するためのスリット9を設けることが好ましい。反射型マスク4で垂直に反射したX線光束を、X線ビームスプリッター1により透過(図1の場合)又は反射(図2の場合)させた後、投影結像光学系6へ入射させる。このとき、投影結像光学系6への互いに平行である入射X線光束の主光線の方向と投影結像光学系6の光軸とを平行にする。これで、物体側(マスク側)がテレセントリックな軟X線投影露光装置を構成することができる。

【0022】ウェファァー7は、その表面が投影結像光学系6の光軸に対して垂直になるように設置されており、像側(ウェファァー側)でもテレセントリックな結像が行われる。一度に露光できる領域は、例えば幅0.5 mm、長さ30 mm程度の円弧状の範囲なので、マスクステージ5とウェファァーステージ8とを、投影結像光学系6の縮小倍率に応じた速度比で同期走査(スキャン)しながら露光することによって、30×30 mm程度の露光領域を得る。

【0023】この領域を露光したら、ウェファァー7の位置をずらして(ステップして)、次の露光を行う。このようなステップ・アンド・スキャン動作を繰り返すことによってウェファァー全面を露光する。本発明にかかるX線ビームスプリッターは、少なくとも、開口部を有する基板と、該開口部を塞ぐように該基板上に形成してなる自立多層膜とにより構成することが好ましい(請求項2)。このようなX線ビームスプリッター1の構造の一例を図3に示す(図3aは平面図、図3bは断面図) 充分な機械的強度を持つ基板11に窓部(開口部)12を形成し、この開口部12を覆うように自立した多層膜13が形成されている。開口部12は、X線が透過および反射する円弧状の領域(図中破線で示す)よりも全体として大きめの長方形に形成してある。

【0024】X線ビームスプリッターの開口部には、自立多層膜を支持する梁状の支持部を設けることが好ましい(請求項3)。例えば、自立多層膜13の強度が不十分で大きな面積では自立し難い場合には、開口部に設けた梁状の支持部14により、自立多層膜13を補強(支持)することができる。X線ビームスプリッター1は、投影結像光学系6の焦点からずれた位置に設置されるので、このような支持部14があっても、支持部14の影が直接ウェファァー7上に転写されることはないが、露光領域の照度ムラの原因となる。

【0025】そこで、X線ビームスプリッターを、その表面に対して平行な方向へ振動させる振動手段を設けることが好ましい(請求項4)。即ち、X線ビームスプリッター1をその表面に平行な面内で、例えば長方形の開口部12の長手方向に振動させることにより、照度ムラを防ぐことができる自立多層膜13は、支持部14により補強されている場合でも、壊れやすいものである。即ち、長時間連続して露光を続けると、自立多層膜13が途中で破損する可能性が充分にある。

【0026】そこで、前記X線ビームスプリッターの破損を検知する検知手段を設けることが好ましい(請求項5)。即ち、X線ビームスプリッター1の破損を検知する手段として例えば、X線検出器を設けることが好ましい。X線検出器には、MCP(マイクロチャンネルプレート)、光電子増倍管、X線ダイオード、X線CCDなどを使用することができる。

【0027】例えば、図1の配置の場合には、照明光学系3からのX線がX線ビームスプリッター1を透過する位置にX線検出器10aを設置しておき、検出されるX線強度の増加によってX線ビームスプリッター1の破損を検知することができる。あるいは、スリット9上にX線検出器10bを設置しておき、検出されるX線強度の低下によってX線ビームスプリッター1の破損を検知することができる。

【0028】また、図2の配置の場合には、スリット9上にX線検出器10bを設置しておき、検出されるX線強度の増加によってX線ビームスプリッター1の破損を検知することができる。X線ビームスプリッターの破損を検知する検知手段の他に、複数のX線ビームスプリッターを収納する収納手段と、前記検知手段により破損が検知されたX線ビームスプリッターを前記収納手段に収納されたX線ビームスプリッターと交換する交換手段とを更に設けることが好ましい(請求項6)。

【0029】例えば、前記収納手段に予め複数の予備のX線ビームスプリッターを収納しておく。そして、破損を検出したら直ちに前記交換手段により新品(予備のX線ビームスプリッター)と交換する。このような手段を設けることによって、X線ビームスプリッターが万一破損しても運転を停止する必要がなくなり、X線投影露光装置の稼働率を高めることができる。

【0030】ところで、X線ビームスプリッター1にX線が入射すると、その一部は反射し一部は透過して、残りは多層膜13に吸収される。本発明にかかる軟X線投影露光装置(例えば、図1および図2)においては、照明光学系3から出たX線は、投影結像光学系6に至るまでの間に、X線ビームスプリッター1で一回の反射と一回の透過を行う。

【0031】従って、投影結像光学系6へ入射するX線の強度は、多層膜13の反射率をR透過率をTとすると、 $R \times T$ に比例する。 $R + T + A$ は一定なので(Aは

多層膜の吸収)、 $R=T$ の時に $R \times T$ は最大となり、投影結像光学系6へ入射するX線の強度は最大になる。従って、X線ビームスプリッターの、使用X線に対する反射率と透過率とを等しく又は略等しくすることが好ましい(請求項7)。多層膜13の積層数を増すと、反射率は増加し、透過率は低下するので、この条件( $R=T$ )を満たすように、適当な積層数を選択することが好ましい。

【0032】本発明にかかる多層膜としては、例えば、モリブデン/ケイ素、モリブデン/ケイ素化合物、ルテニウム/ケイ素、ルテニウム/ケイ素化合物、ロジウム/ケイ素、ロジウム/ケイ素化合物、等の各組み合わせのうち、いずれか一つの組み合わせで交互に複数回積層したものが好ましい。以下、実施例により本発明を更に詳細に説明するが、本発明はこれらの例に限定されるものではない。

#### 【0033】

【実施例】まず、本発明にかかるX線ビームスプリッターの作製方法の例について説明する。図6はX線ビームスプリッターの第1の作製方法を示す図である。まず、両面研磨したシリコンウェファァ61の裏面に減圧CVD(Chemical Vapour Deposition)により、厚さ0.1  $\mu$ mのシリコンナイトライド(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)膜を形成する。

【0034】この上にフォトレジストを塗布し、フォトリソグラフィによりレジストをパターニングして、X線ビームスプリッターの窓(開口部)となる部分のレジストを除去する。このレジストをマスクとして、シリコンナイトライド膜をCF<sub>4</sub>ガスを用いたRIE(Reactive Ion Etching)によりエッチングして、X線ビームスプリッターの窓(開口部)となる部分が除去されたシリコンナイトライド膜62を形成する(図6a)。

【0035】次に、このシリコンウェファァ61の表面に高周波マグネトロンスパッタリングにより、モリブデンとシリコン(ケイ素)の多層膜63を形成する(図6b)。多層膜63の周期長と積層数は、X線ビームスプリッターの所望の入射角と反射率、透過率を得られる値に適宜設定する。最後に、裏面のシリコンナイトライド膜62をマスクとして、KOH水溶液により、シリコンウェファァ61をエッチングして、窓部(開口部)64を形成する。多層膜を形成している側のシリコンも、このKOH水溶液に侵されるので、多層膜の第1層目(シリコンウェファァに最初に形成する層)はモリブデンとする。シリコンナイトライド膜62の残されていた部分のシリコンウェファァ61はエッチングされずに残るので、多層膜63の支持部65が形成される。(図6c)図7はX線ビームスプリッターの第2の作製方法を示す図である。

【0036】まず、例えば、シリコンウェファァなどの基板71の表面に、厚さ1  $\mu$ m程度にフォトレジスト7

2を塗布する。この上に、高周波マグネトロンスパッタリングにより、モリブデンとシリコンの多層膜73を形成する(図7a)。多層膜73の周期長と積層数は、X線ビームスプリッターの所望の入射角と、反射率又は透過率を得られる値に適宜設定する。

【0037】一般にスパッタリングにより形成した薄膜は、圧縮応力を持つことが多いが、ここでは多層膜の内部応力が0に近くなるように成膜条件を調節する。具体的には、成膜時のガス圧力を通常(例えば5mTorr程度)よりもやや高め(例えば、20mTorr程度)にするか、或いは、成膜時に基板を例えば、100℃程度に加熱することによって内部応力を低減することができる。

【0038】次に、このようにして表面に多層膜73を形成した基板71を、アセトン等の有機溶剤に浸漬する。そうすると、レジスト72は有機溶剤に溶けるので、多層膜73が基板71から剥がれる。この多層膜73(図7b)を掬い取って、予め窓部(開口部)75と支持部76を形成しておいた別の基板74上に接着剤を用いて貼り付けることにより、図7cに示すようなX線ビームスプリッターが完成する。

【0039】次に、このようにして作製したX線ビームスプリッターの特性の例について説明する。図8は、波長13nm、入射角45度で使用するX線ビームスプリッターの反射率(実線)と透過率(破線)を示す。多層膜は、モリブデン層の厚さが3.2nm、シリコン層の厚さが6.4nm、積層数は12層対であり、全体の厚さは115.2nmである。反射率は33%、透過率は34%であるので、このX線ビームスプリッターの効率(反射率と透過率の積)は11%である。

【0040】図9は、波長13nm、入射角15度で使用するX線ビームスプリッターの反射率(実線)と透過率(破線)を示す。多層膜は、モリブデン層の厚さが2.3nm、シリコン層の厚さが4.6nm、積層数は13層対であり、全体の厚さは89.7nmである。反射率は39%、透過率は43%であるので、このX線ビームスプリッターの効率(反射率と透過率の積)は17%である。

【0041】図10は、波長13nm、入射角60度で使用するX線ビームスプリッターの反射率(実線)と透過率(破線)を示す。多層膜は、モリブデン層の厚さが4.8nm、シリコン層の厚さが9.6nm、積層数は4層対であり、全体の厚さは57.6nmである。反射率は41%、透過率は33%であるので、このX線ビームスプリッターの効率(反射率と透過率の積)は14%である。

【0042】以上三つのX線ビームスプリッターは、非偏光のX線に対して用いられるものであり、レーザープラズマX線源を光源とする場合に使用する。放射光は直線偏光なので、その場合は若干多層膜の構成が異なる。図11は、波長13nmのs偏光に対して、入射角45度で使用するX線ビームスプリッターの反射率(実線)

と透過率(破線)を示す。多層膜は、モリブデン層の厚さが3.2 nm、シリコン層の厚さが6.4 nm、積層数は6層対であり、全体の厚さは57.6nmである。反射率は38%、透過率は44%であるので、このX線ビームスプリッターの効率(反射率と透過率の積)は17%である。

【0043】次に、本発明にかかるX線投影露光装置の実施例について具体的に説明する。図12は、入射角45度のX線ビームスプリッターを用いた本発明にかかるX線投影露光装置の第1実施例である。かかる装置は、不図示の真空チャンバー内に設置されており、所定の真空度の下で動作するものである。X線源2にレーザープラズマX線源を用いた場合には、図8に示した特性のX線ビームスプリッターを用い、放射光光源を用いた場合には、図11に示した特性のX線ビームスプリッターを用いる。後者の場合には、投影結像光学系6の光軸は、放射光光源の電子軌道面(通常は水平面)に対して垂直になるよう配置される。

【0044】照明光学系3から出たX線は、X線ビームスプリッター1により反射された後マスクステージ5に保持されたマスク4へ垂直に入射する。X線ビームスプリッター1を透過したX線は、X線検出器(検知手段の一例)10aにより、その強度が監視される。マスク4の直前には、露光領域を制限するための円弧状の開口をもったスリット9が設置されている。このスリット上にもX線検出器(検知手段の一例)10bが設けられており、X線の強度を監視する。

【0045】X線ビームスプリッター1が破損すると、X線検出器10aの出力は増加し、X線検出器10bの出力は低下するので、破損を直ちに検知することができる。マスク4で垂直に反射したX線は、再度X線ビームスプリッター1へ入射し、これを透過した後、投影結像光学系6へ入射する。本実施例では、投影結像光学系6には4枚の非球面形状の反射面からなる光学系を用いた。各反射面には、X線を反射するためのモリブデンとシリコンからなる多層膜がコーティングされている。

【0046】この光学系は、物体側(マスク側)と像側(ウェファー側)の両側とも、テレセントリックな光学系である。この光学系の像側(ウェファー側)開口数は0.08、縮小倍率は1/4であり、波長13nmにおいて0.1 μmの解像力を有する。投影結像光学系6は、ウェファーステージ8に保持されたウェファー7の表面にマスクパターンの像を形成する。

【0047】一度に露光される領域は、幅0.5 mm、長さ30 mmの細い円弧状の領域であるので、マスクステージ5とウェファーステージ8を動かして、マスク4とウェファー7とを縮小倍率に応じた速度比で同期走査(スキャン)を行うことにより30 mm角の露光領域にマスク4上のパターン全体を転写する。ウェファー7上の一つの露光領域を露光した後、ウェファーステージ8

を動かしてウェファー7の位置をずらし(ステップして)、再度次の露光領域をスキャンしてパターンの転写を行う。

【0048】このようなステップ・アンド・スキャン動作を繰り返すことによって、直径が8インチから12インチのウェファー7全面へパターンの転写を行う。本実施例のX線投影露光装置には、X線ビームスプリッター1を、その面内で振動させるための振動駆動手段(振動手段の一例)101が設けられており、自立多層膜を補強(支持)する梁(支持部)により露光領域の照度ムラが生じることを防ぐ。

【0049】また、本実施例の露光装置には、予備のX線ビームスプリッターを20枚収納するX線ビームスプリッター収納部(収納手段の一例)103と、収納部103から使用時の位置へX線ビームスプリッターを搬送して交換する搬送手段(交換手段の一例)102が設けられている。X線検出器10(10a, 10b)によってX線ビームスプリッター1の破損が検知されると、直ちに搬送手段102により破損したX線ビームスプリッター1は、収納部103に納められている予備品と交換される。

【0050】真空を破ってX線ビームスプリッター1を交換し、再度所定の真空度まで排気する必要がないため、露光装置の運転停止時間を最小限に(数十秒間に)とどめることができるので、スループットが大幅に向上する。図13は、入射角15度のX線ビームスプリッターを用いた本発明にかかるX線投影露光装置の第2実施例である。かかる装置は、不図示の真空チャンバー内に設置されており、所定の真空度の下で動作するものである。

【0051】X線源2には、レーザープラズマX線源を用いている。照明光学系3から出たX線は、X線ビームスプリッター1により反射された後、マスクステージ5に保持されたマスク4へ垂直に入射する。X線ビームスプリッター1を透過したX線は、X線検出器(検知手段の一例)10aにより、その強度を監視される。マスク4の直前には露光領域を制限するための円弧状の開口をもったスリット9が設置されている。このスリット上にもX線検出器(検知手段の一例)10bが設けられ、X線の強度を監視する。

【0052】X線ビームスプリッター1が破損すると、X線検出器10aの出力は増加し、X線検出器10bの出力は低下するので、破損を直ちに検知することができる。マスク4で垂直に反射したX線は、再度X線ビームスプリッター1へ入射し、これを透過した後、投影結像光学系6へ入射する。本実施例では、投影結像光学系6には、2枚の非球面形状の反射面からなる光学系を用いた。各反射面にはX線を反射するためのモリブデンとシリコンからなる多層膜がコーティングされている。

【0053】この光学系は、物体側(マスク側)と像側

(ウェファ側)の両側ともテレセントリックな光学系である。この光学系の像側(ウェファ側)開口数は0.08、縮小倍率は1/4であり、波長13nmにおいて0.1μmの解像力を有する。投影結像光学系6は、ウェファーステージ8に保持されたウェファ7の表面にマスクパターンの像を形成する。

【0054】一度に露光される領域は幅0.5mm、長さ30mmの細い円弧状の領域であるので、マスク4とウェファ7とを縮小倍率に応じた速度比で同期走査(スキャン)を行うことにより、30mm角の露光領域にマスク4上のパターン全体を転写する。ウェファ7上の一つの露光領域を露光した後、ウェファーステージ8を動かしてウェファ7の位置をずらし(ステップして)、再度次の露光領域をスキャンしてパターンの転写を行う。

【0055】このようなステップ・アンド・スキャン動作を繰り返すことによって、直径が8インチから12インチのウェファ7の全面へパターンの転写を行う。本実施例のX線投影露光装置には、X線ビームスプリッター1を、その面内で振動させるための振動駆動手段(振動手段の一例)101が設けられており、自立多層膜を補強(支持)する梁(支持部)により露光領域の照度ムラが生じることを防ぐ。

【0056】また、本実施例の露光装置には、予備のX線ビームスプリッターを20枚収納するX線ビームスプリッター収納部(収納手段の一例)103と、収納部103から使用時の位置へX線ビームスプリッターを搬送して交換する搬送手段(交換手段の一例)102が設けられている。X線検出器10(10a、10b)によってX線ビームスプリッター1の破損が検知されると、直ちに搬送手段102により破損したX線ビームスプリッター1は、収納部103に納められている予備品と交換される。

【0057】真空を破ってX線ビームスプリッター1を交換し、再度所定の真空度まで排気する必要がないため、露光装置の運転停止時間を最小限に(数十秒間に)とどめることができるので、スループットが大幅に向上する。図14は、入射角60度のX線ビームスプリッターを用いた本発明にかかるX線投影露光装置の第3実施例である。かかる装置は、不図示の真空チャンバー内に設置されており、所定の真空度の下で動作するものである。

【0058】X線源2には、レーザープラズマX線源を用いている。照明光学系3から出たX線は、X線ビームスプリッター1を透過した後、マスクステージ5に保持されたマスク4へ垂直に入射する。マスク4の直前には、露光領域を制限するための円弧状の開口をもったスリット9が設置されている。このスリット上にはX線検出器10bが設けられておりX線の強度を監視する。

【0059】X線ビームスプリッター1が破損すると、

X線検出器10bの出力は低下するので、破損を直ちに検知することができる。マスク4で垂直に反射したX線は、再度X線ビームスプリッター1へ入射してこれより反射された後、投影結像光学系6へ入射する。本実施例では、投影結像光学系6には2枚の球面形状の反射面で3回反射するオフナー光学系を用いた。各反射面には、X線を反射するためのモリブデンとシリコンからなる多層膜がコーティングされている。

【0060】この光学系は、物体側(マスク側)と像側(ウェファ側)の両側ともテレセントリックな光学系である。この光学系の像側(ウェファ側)開口数は0.08、縮小倍率は等倍であり、波長13nmにおいて0.1μmの解像力を有する。投影結像光学系6の後には、マスクステージ5とウェファーステージ8との干渉を防ぐために、X線ビームを折り曲げるための平面形状の多層膜ミラー141が設置されている。

【0061】投影結像光学系6は、ウェファーステージ8に保持されたウェファ7の表面にマスクパターンの像を形成する。一度に露光される領域は幅0.5mm、長さ30mmの細い円弧状の領域であるので、マスク4とウェファ7とを同じ速度で同期走査(スキャン)を行うことにより、30mm角の露光領域にマスク4上のパターン全体を転写する。

【0062】ウェファ7上の一つの露光領域を露光した後、ウェファーステージ8を動かしてウェファ7の位置をずらし(ステップして)、再度次の露光領域をスキャンしてパターンの転写を行う。このようなステップ・アンド・スキャン動作を繰り返すことによって、直径が8インチから12インチのウェファ7の全面へパターンの転写を行う。

【0063】本実施例のX線投影露光装置には、X線ビームスプリッター1を、その面内で振動させるための振動駆動手段(振動手段の一例)101が設けられており、自立多層膜を補強(支持)する梁(支持部)により露光領域の照度ムラが生じることを防ぐ。また、本実施例の露光装置には、予備のX線ビームスプリッターを20枚収納するX線ビームスプリッター収納部(収納手段の一例)103と、収納部103から使用時の位置へX線ビームスプリッターを搬送して交換する搬送手段(交換手段の一例)102が設けられている。

【0064】X線検出器10によってX線ビームスプリッター1の破損が検知されると、直ちに搬送手段102により破損したX線ビームスプリッター1は、収納部103に納められている予備品と交換される。真空を破ってX線ビームスプリッター1を交換し、再度所定の真空度まで排気する必要がないため、露光装置の運転停止時間を最小限に(数十秒間に)とどめることができるので、スループットが大幅に向上する。

【0065】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば反射型マ

10

20

30

40

50



スクへのX線の入射角を垂直にすることができるので、従来のX線投影露光装置では使用できなかった物体側（マスク側）テレセントリックな投影結像光学系を使用することが可能となり、露光装置の結像性能を大幅に向上することができる。

【0066】また、本発明にかかるX線ビームスプリッターの反射角度は、任意の値に設定することができるので、露光装置の構成要素（X線源、照明光学系、マスクステージ、投影結像光学系、ウェファーステージなど）の配置の自由度が増し、露光装置全体をコンパクトに設計することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のX線投影露光装置の一例を示す構成図である。

【図2】本発明のX線投影露光装置の他例を示す構成図である。

【図3】本発明にかかるX線ビームスプリッターの一例を示す概略平面図（a）及び概略断面図（b）である。

【図4】リングフィールド光学系の一例を示す概略斜視図である。

【図5】従来の軟X線投影露光装置の一例を示す構成図である。

【図6】本発明にかかるX線ビームスプリッターを作製する方法の一例（第1の製作方法）を説明する概略断面図である。

【図7】本発明にかかるX線ビームスプリッターを作製する方法の一例（第2の製作方法）を説明する概略断面図である。

【図8】実施例に用いられる第1のX線ビームスプリッターの反射透過特性図である。

【図9】実施例に用いられる第2のX線ビームスプリッターの反射透過特性図である。

【図10】実施例に用いられる第3のX線ビームスプリッターの反射透過特性図である。

【図11】実施例に用いられる第4のX線ビームスプリッターの反射透過特性図である。

【図12】本発明にかかるX線投影露光装置の第1実施例を示す構成図である。

【図13】本発明にかかるX線投影露光装置の第2実施例を示す構成図である。

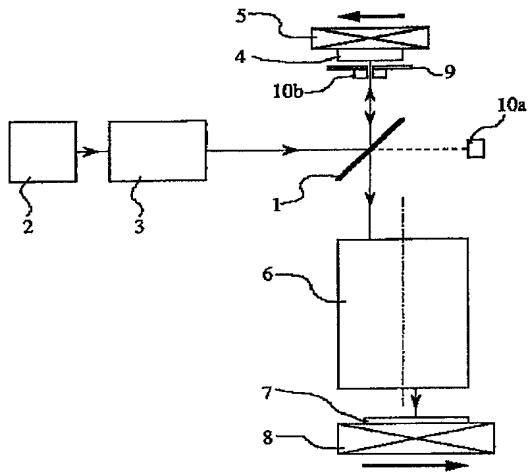
【図14】本発明にかかるX線投影露光装置の第3実施

例を示す構成図である。

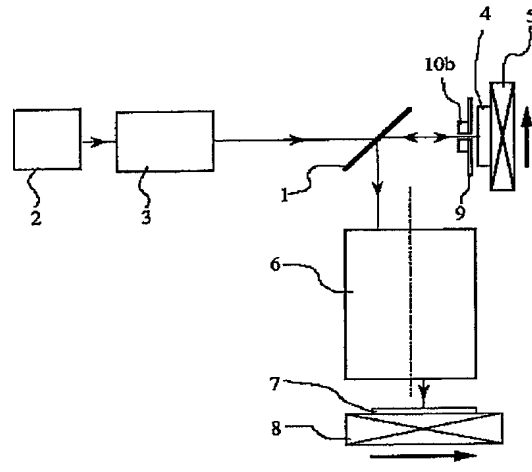
【主要部分の符号の説明】

- 1 X線ビームスプリッター
- 2 X線源
- 3 照明光学系
- 4 反射型マスク
- 5 マスクステージ
- 6 投影結像光学系
- 7 ウェファー
- 8 ウェファーステージ
- 9 スリット
- 10 X線検出器（検知手段の一例）
- 11 基板
- 12 窓部（開口部）
- 13 多層膜
- 14 支持部
- 20 リングフィールド光学系
- 21 光軸
- 22 リングフィールド
- 23 マスク
- 24 ウェファー
- 25 円弧状の露光領域
- 61 シリコンウェファー
- 62 シリコンナイトライド膜
- 63 多層膜
- 64 窓部（開口部）
- 65 支持部
- 71 シリコンウェファー
- 72 レジスト層
- 73 多層膜
- 74 基板
- 75 窓部（開口部）
- 76 支持部
- 101 X線ビームスプリッター振動駆動手段（振動手段の一例）
- 102 X線ビームスプリッター搬送手段（交換手段の一例）
- 103 X線ビームスプリッター収納部（収納手段の一例）
- 40 以上

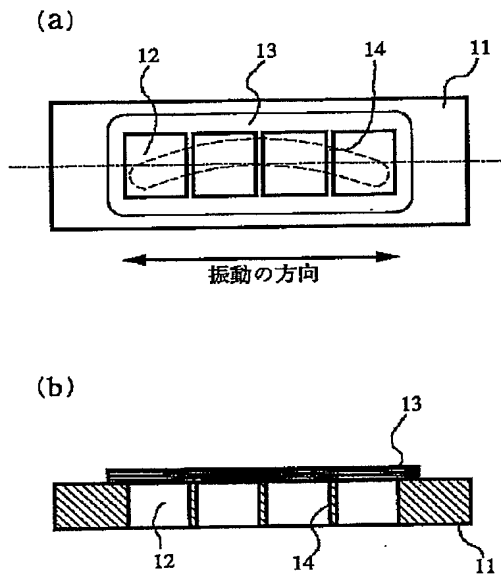
【図1】



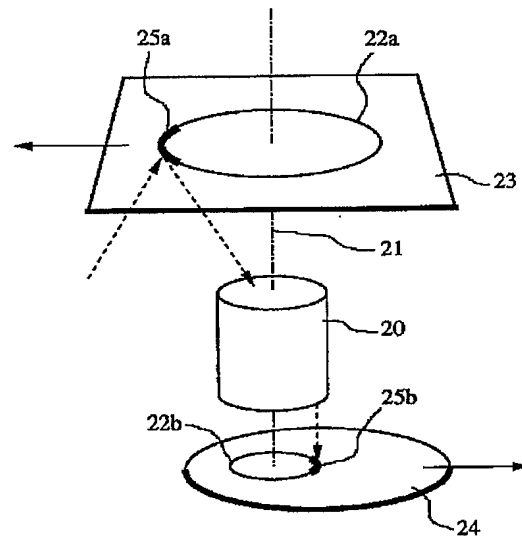
【図2】



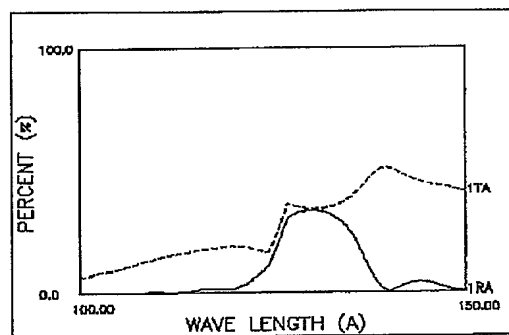
【図3】



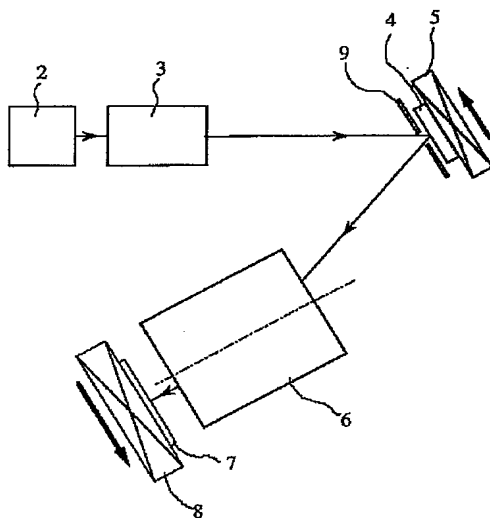
【図4】



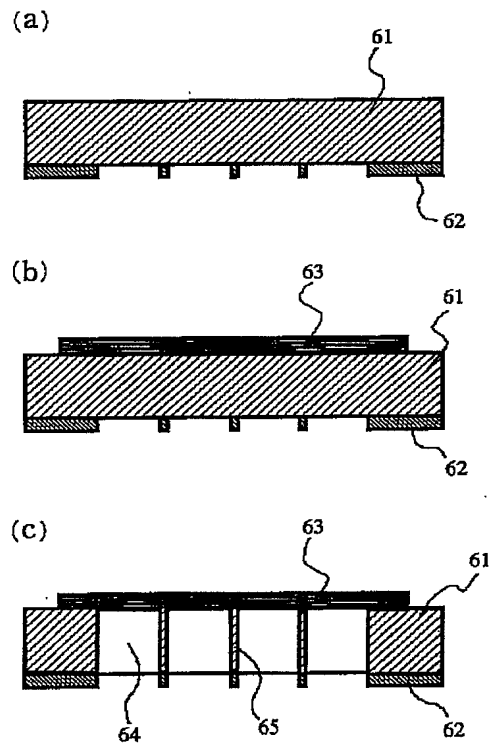
【図8】



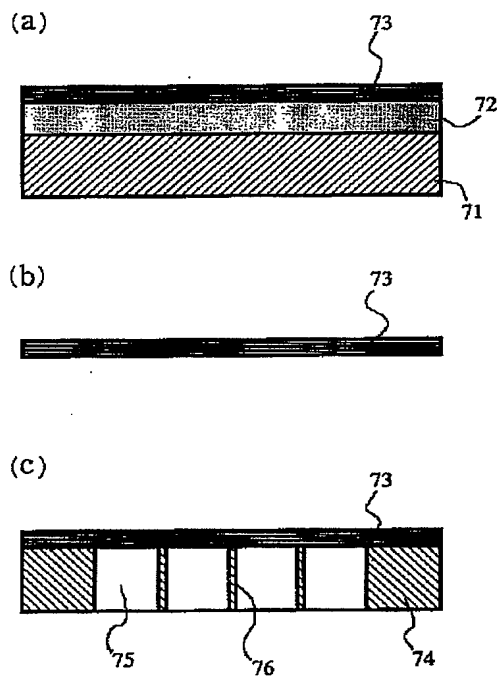
【図5】



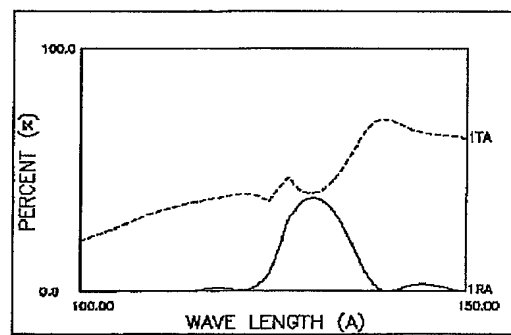
【図6】



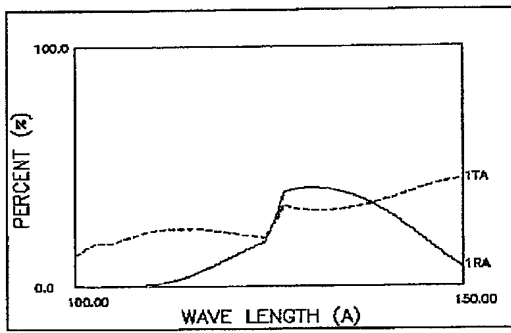
【図7】



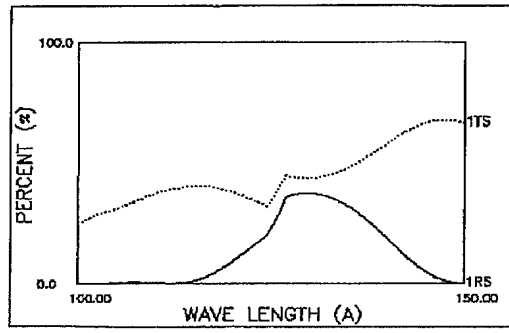
【図9】



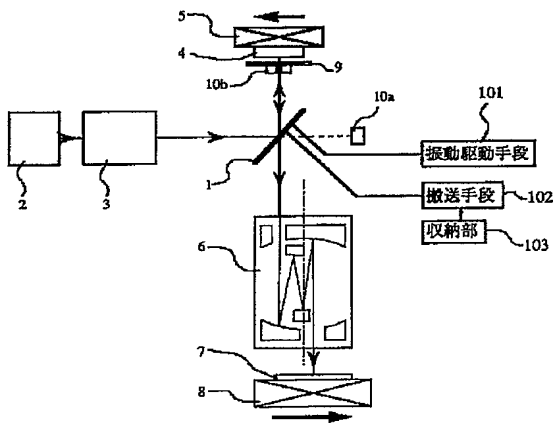
【図10】



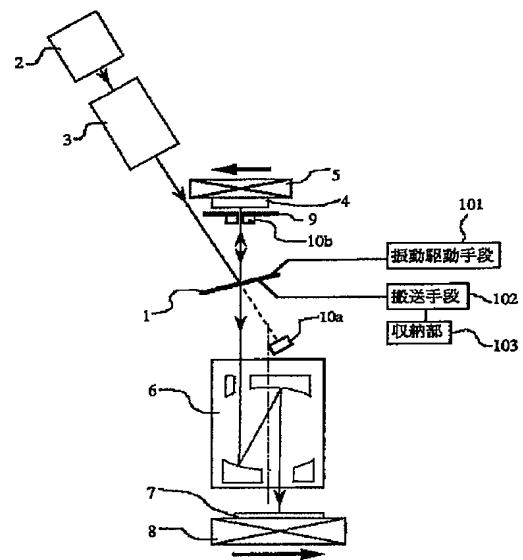
【図11】



【図12】



【図13】



【図14】

